

新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする
次世代フォトニクスの基盤技術
2016年度採択研究代表者

2020年度 年次報告書

岩谷 素顕

名城大学 理工学部
教授

深紫外領域半導体レーザの実現と超高濃度不純物・分極半導体の研究

§1. 研究成果の概要

本研究課題では窒化物半導体材料による AlGaIn 系材料による未踏波長領域の深紫外半導体レーザーを実現することを目的として研究を進めている。また、窒化物半導体特有の分極半導体としての物理を徹底的に理解し、その学理の構築をあわせて目指し研究を進めてきた。本グループでは、サファイア基板上にスパッタ法で堆積した AlN を高温で熱処理をすることによって、世界で最も高品質な AlN 薄膜を得る技術を有している。さらに、2019 年度の検討で、自然核発生による 3 次元成長を活用することによって、中間 Al 組成 AlGaIn において世界で最も低転位な AlGaIn を実現するなどの成果を残してきた。さらに、分極ドーピングの手法により良好な光共振器とキャリアの反転分布が可能な大電流密度動作を実現し、世界で初となる UV-B 領域の半導体レーザーの室温パルス動作を実証した。

2020 年度は、これらの成果を発展させ実現したデバイスの高性能化を検証した。検証した内容として、AlN にナノメートルオーダーの凹凸加工を施し、その上に AlGaIn を再成長することによって意図的に AlGaIn の 3 次元成長を実現する手法を検討した。結果として、カソードルミネッセンスのダークスポット密度によって見積もられた転位密度は $3.5 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ と自然核発生による方法に対して優位なデータを得ることに成功した。さらに、キャリア注入効率、光閉じ込め係数の増大、屈折率導波路構造の適用、分極ドーピングに加え Mg 不純物ドーピングの最適化などを適用することによって UV-B 領域の半導体レーザーの閾値電流密度は 2020 年 2 月に初めて発表したときの 41 kAcm^{-2} から 9 kAcm^{-2} とおおよそ 1/5 に低減することに成功した。また、レーザーリフト法により 1 cm 角のウェハをサファイア基板から剥離することに成功し、将来的な縦伝導型レーザーの実現に向けた成功の第 1 歩を切り開いた。

§2. 研究実施体制

(1)「名城大学」グループ

① 研究代表者:岩谷 素顕 (名城大学 理工学部、教授)

② 研究項目

- ・紫外レーザの作製および評価
- ・物性評価・シミュレーション
- ・分極半導体および超高濃度不純物半導体の物理の解析

(2)「三重大学」グループ

① 主たる共同研究者:三宅秀人 (三重大学 大学院地域イノベーション学研究科、教授)

② 研究項目

- ・AlGa_N系テンプレートの高品質化
- ・機械学習によるAlNテンプレートの最適プロセス設計

【代表的な原著論文情報】

- [1]. “Internal loss of AlGa_N-based ultraviolet-B band laser diodes with p-type AlGa_N cladding layer using polarization doping” Tomoya Omori, Sayaka Ishizuka, Shunya Tanaka, Shinji Yasue, Kosuke Sato, Yuya Ogino, Shohei Teramura, Kazuki Yamada, Sho Iwayama, Hideto Miyake, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Applied Physics Express 13, 071008 (2020).
- [2]. “AlGa_N-based UV-B laser diode with a wavelength of 290 nm on 1 μm periodic concavo-convex pattern AlN on a sapphire substrate” Shunya Tanaka, Shohei Teramura, Moe Shimokawa, Kazuki Yamada, Tomoya Omori, Sho Iwayama, Kosuke Sato, Hideto Miyake, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Applied Physics Express 14, 055505 (2021).
- [3]. “AlGa_N-based UV-B laser diode with a high optical confinement factor” Shunya Tanaka, Yuya Ogino, Kazuki Yamada, Tomoya Omori, Reo Ogura, Shohei Teramura, Moe Shimokawa, Sayaka Ishizuka, Ayumu Yabutani, Sho Iwayama, Kosuke Sato, Hideto Miyake, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Applied Physics Letters 118, 163504 (2021).
- [4]. “Effect of dislocation density on optical gain and internal loss of AlGa_N-based ultraviolet-B band lasers” Shunya Tanaka, Yuta Kawase, Shohei Teramura, Sho Iwayama, Kosuke Sato, Shinji Yasue, Tomoya Omori, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Hideto Miyake, Applied Physics Express 13, 045504 (2020).
- [5]. “High-quality AlN/sapphire templates prepared by thermal cycle annealing for high-performance ultraviolet light-emitting diodes”, D Wang, K Uesugi, S Xiao, K Norimatsu, H Miyake, Applied Physics Express 14, 035505 (2021).